

Medição da resistência de aterramento em subestações com malhas conectadas a cabos para-raios: desafios e solução – ID 5661

Autor: *Leonardo Rodrigues Limongi*

Coautor: *Rogério de Lima e Sá*

Empresa: *Neoenergia*

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG



XXV Seminário
Nacional de
Distribuição de
Energia Elétrica

SENDI
2025
BELO HORIZONTE

Contexto

Produto desenvolvido por meio do projeto PD-00043-0122 intitulado “Sistema de medição da resistência de aterramento em subestações usando fonte de injeção de corrente”, que faz parte do Programa de PDI da Neoenergia, regulado pela ANEEL.

Parceria que apoia a indústria nacional



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Introdução

➡ Importância do aterramento em subestações

proteção contra sobretensões
(descargas atmosféricas e falhas)

Segurança de pessoal e equipamentos

Estabilidade do Sistema Elétrico

Conformidade com as Normas Técnicas

atuação adequada dos dispositivos de proteção



Realization:

instituto
abradee



Host Company:

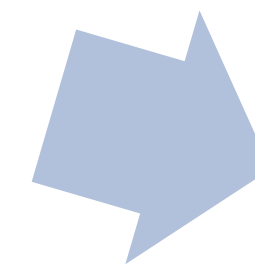
CEMIG

Introdução

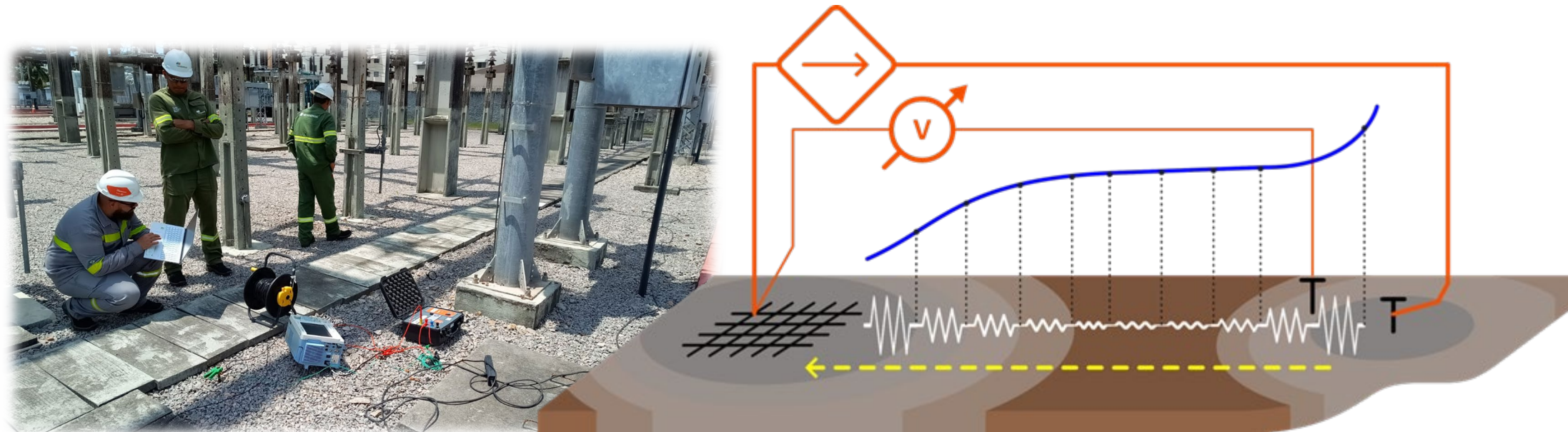
➡ Resistência de aterramento

Usado no apoio à manutenção e diagnóstico

Corrosão, rompimentos ou deterioração da malha ao longo do tempo



Indicador da condição operacional da malha



Realization:

instituto
abradee



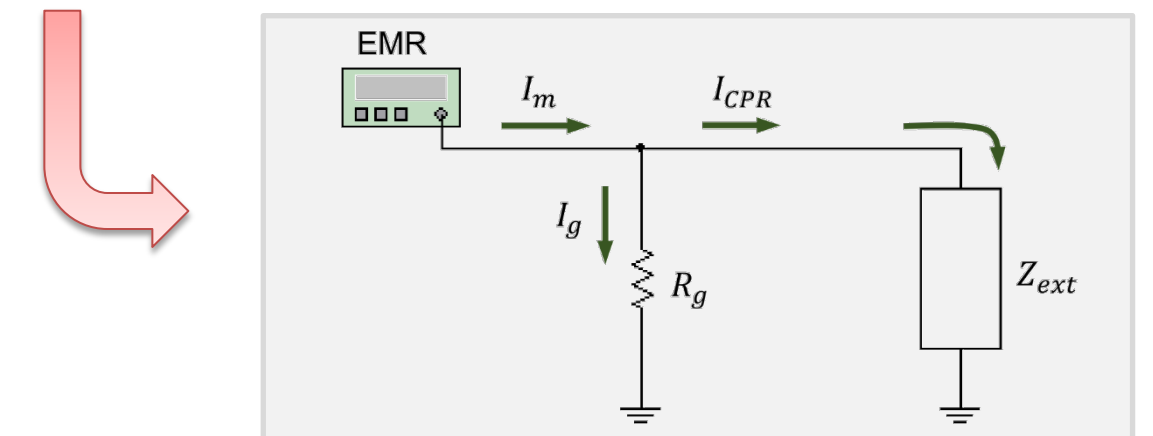
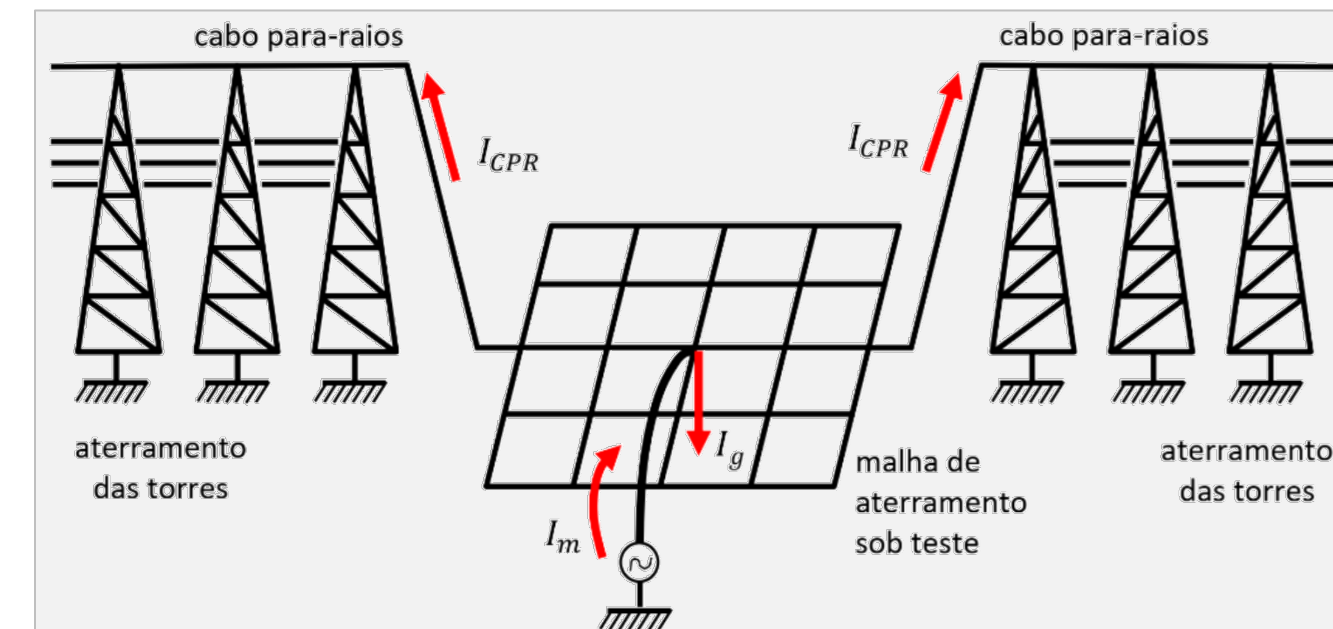
HostCompany:

CEMIG

Introdução

➡ Resistência de aterramento

- Os cabos para-raios podem desviar uma parcela significativa da corrente de medição, I_m
- Essa proporção depende da relação $k = R_g / Z_{ext}$, sendo $I_{CPR} = k I_m$
- Em condições práticas, não é possível determinar o fator k
 - R_g não é um valor conhecido (medição está sendo realizada)
 - Z_{ext} depende das condições dos aterramentos das torres das linhas de transmissão, que podem variar até mesmo ao longo do ano (chuvas e secas)



Realization:

instituto
abradee



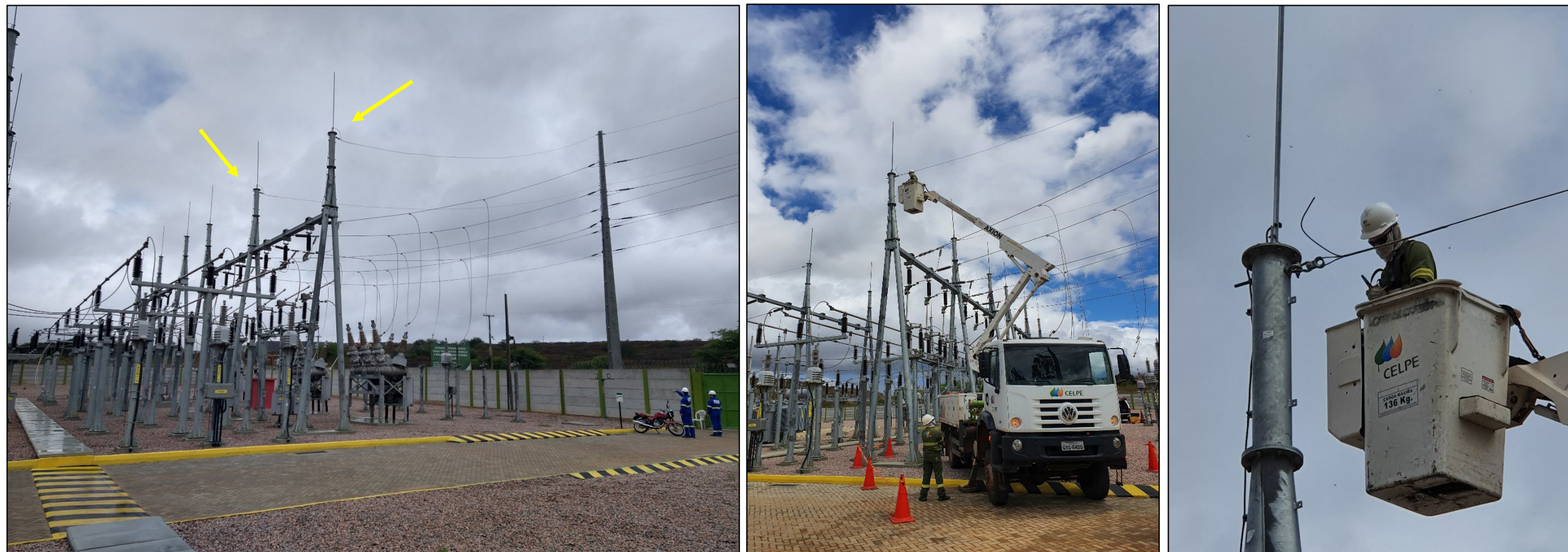
HostCompany:

CEMIG

Introdução

➡ Resistência de aterramento

- A desconexão do CPR frequentemente se mostram inviáveis por questões operacionais, estruturais ou de segurança



Realization:

instituto
abradee



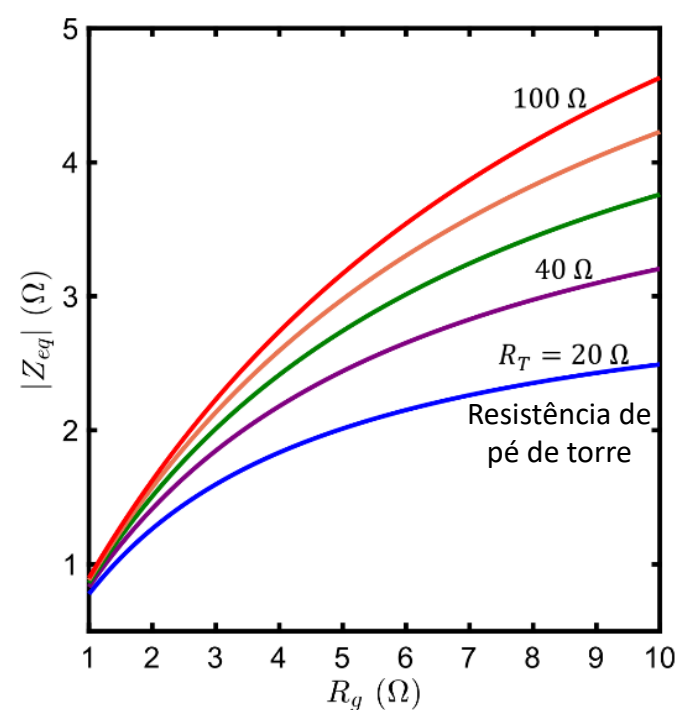
HostCompany:

CEMIG

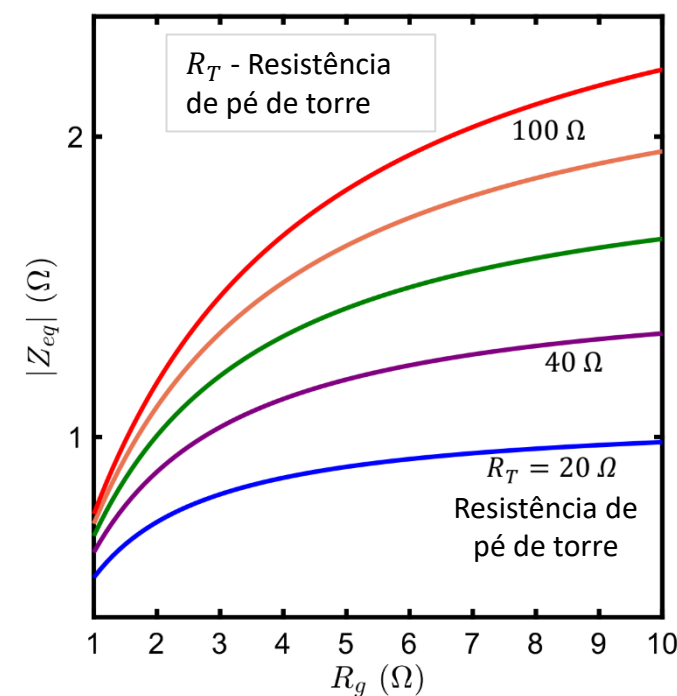
Introdução

➡ Resistência de aterramento

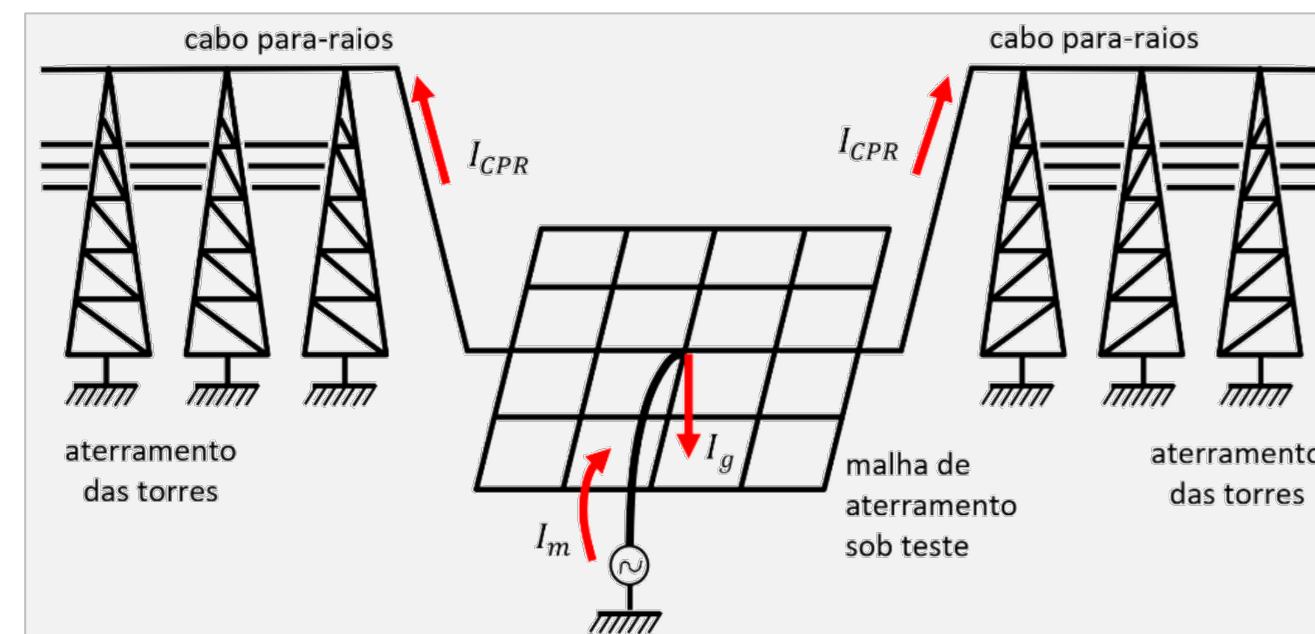
- O erro tende a aumentar muito rapidamente a medida que a quantidade de linhas conectadas à malha também aumenta



2 linhas conectadas à malha



3 linhas conectadas à malha



2 linhas conectadas à malha

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Desenvolvimento

➔ Solução desenvolvida

Analizador de Malhas de Aterramentos AMT600

Parâmetros medidos

- ✓ Resistência de aterramento
- ✓ Tensão de toque
- ✓ Tensão de passo
- ✓ Continuidade elétrica



Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG

Desenvolvimento

➔ AMT600-Compensador



AMT600
Compensador



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

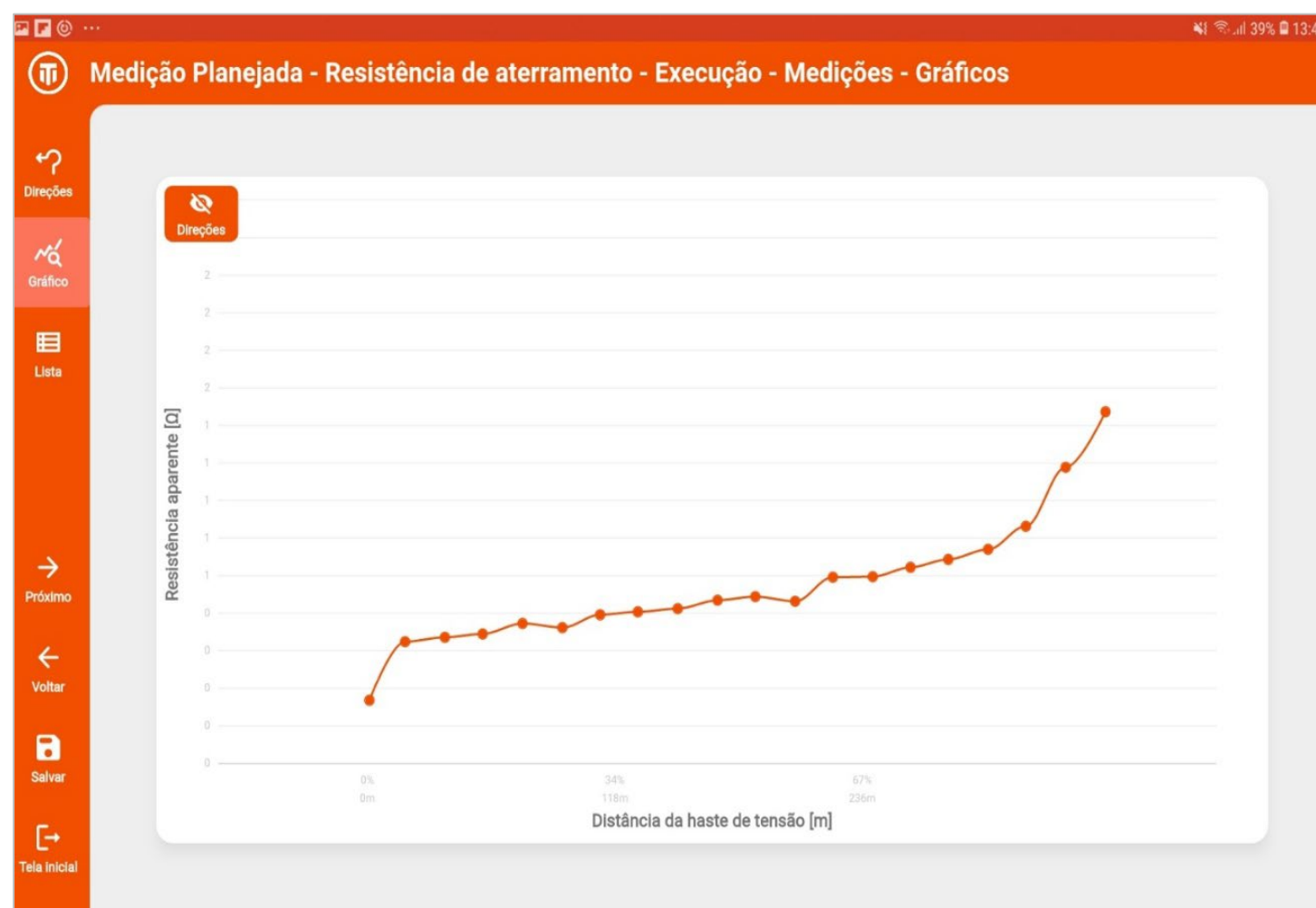
AMT600

➡ Medição de R_g com o Compensador



A visualização imediata dos dados aqisitados através da curva de resistências aparentes. Revela inconsistências permitindo que uma nova aquisição seja feita antes de se avançar para a próxima

Resultados apresentados em tempo real



Realization:

Host Company:

instituto
abradee



CEMIG

AMT600

➡ Medição de R_g com o Compensador



O AMT600-Compensador mede as correntes que passam pelos cabos para-raios tornando possível a devida compensação

Compensação da corrente no cabo para-raios



O AMT600 -Compesador registra correntes fasoriais e não apenas o módulo da corrente. Com isso, a compensação das correntes para a definição da resistência de aterramento apresenta maior precisão e confiabilidade

Realization:

instituto
abradee

HostCompany:

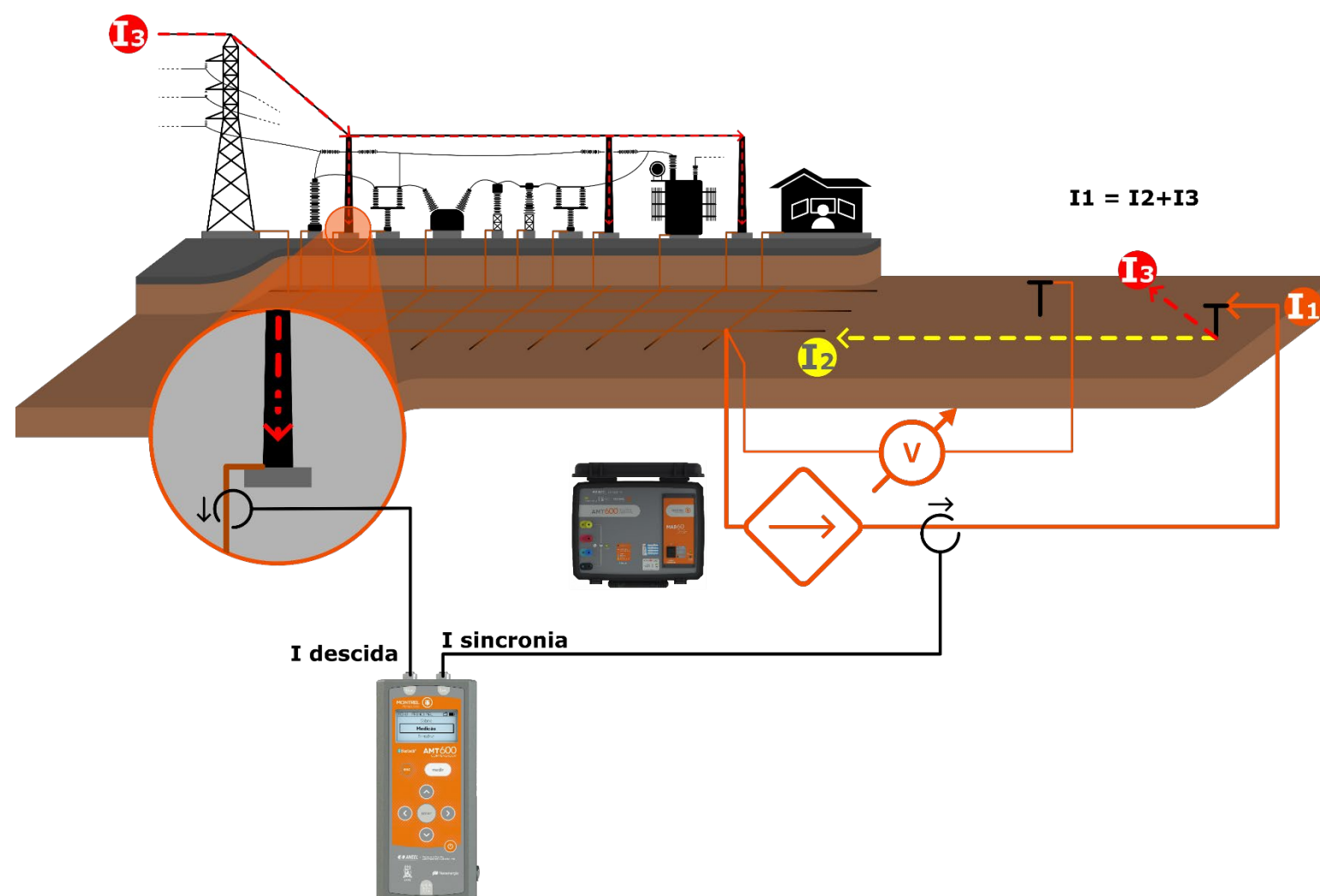
CEMIG

AMT600

➔ Medição de R_g com o Compensador



O AMT600-Compensador mede as correntes que passam pelos cabos para-raios tornando possível a devida compensação



I_1 - corrente injetada pelo AMT600

I_2 - corrente direcionada para o aterramento

I_3 - corrente que passa pelo CPR

$$I_g = I_2 = I_1 - I_3$$

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

AMT600

➔ Medição de R_g com o Compensador



O AMT600-Compensador mede as correntes que passam pelos cabos para-raios tornando possível a devida compensação



Medição das correntes que seguem pelo cabo para-raios à malha com o AMT600-Compensador



sondas de corrente do tipo pinça/garra



sondas de corrente do tipo bobina de Rogowski

Realization:

instituto
abradee



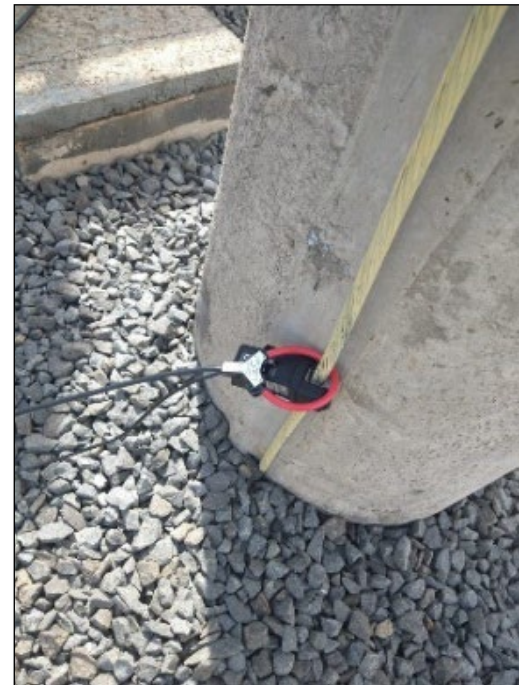
HostCompany:

CEMIG

Casos Práticos

➡ Subestação Limeira-06

- Possui um ramal de entrada de 138 kV com circuito duplo e CPR que se conectam ao SPDA
- O SPDA é conectado à malha de aterramento através de 6 cabos que descem rentes aos postes
- Maior dimensão da malha corresponde a sua diagonal (~70 m)
- Distância do eletrodo de corrente foi de ~290 m



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Casos Práticos

➡ Subestação Limeira-06

- As correntes pré-existentes são compensadas. Neste dia variaram entre 88 mA e 641 mA
- O AMT600 injetou correntes nas frequências de 80, 90 e 100 hertz



Medição das correntes que seguem pelos cabos para-raios conectados à malha utilizando o AMT600-Compensador

Realization:

instituto
abradee



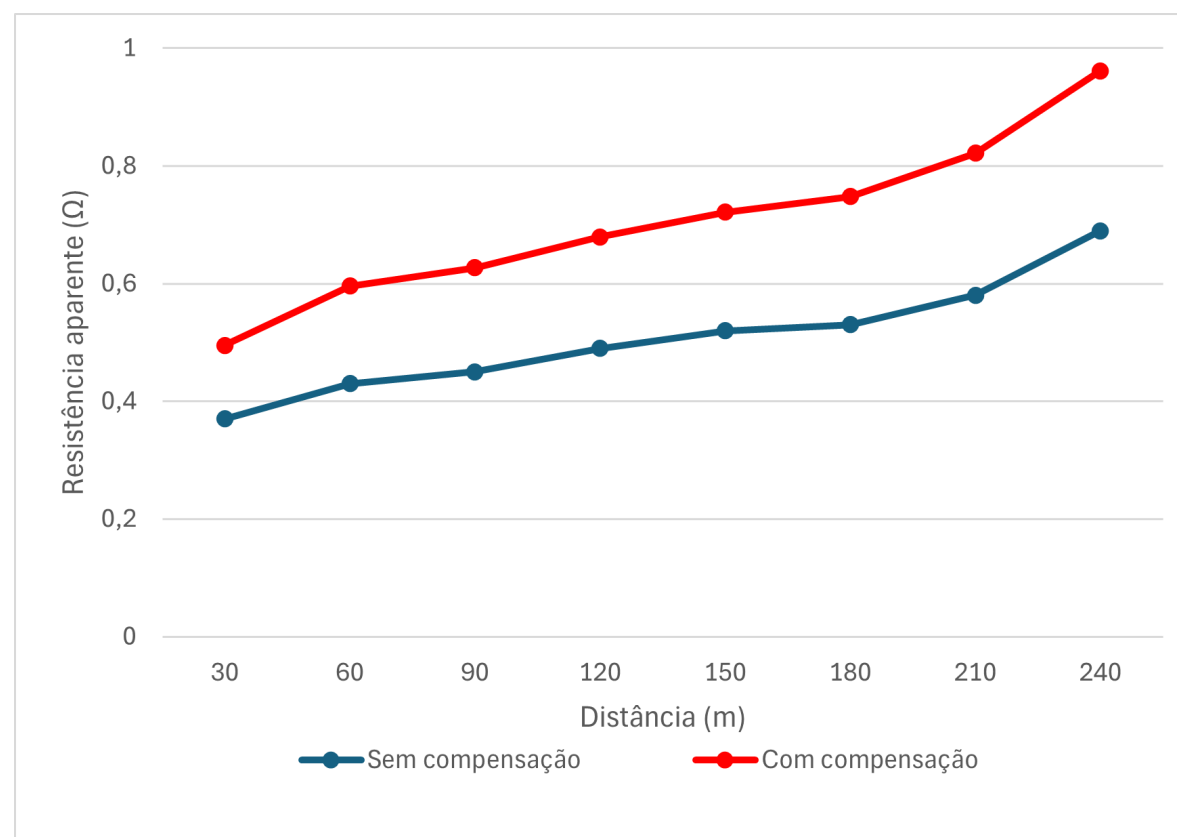
HostCompany:

CEMIG

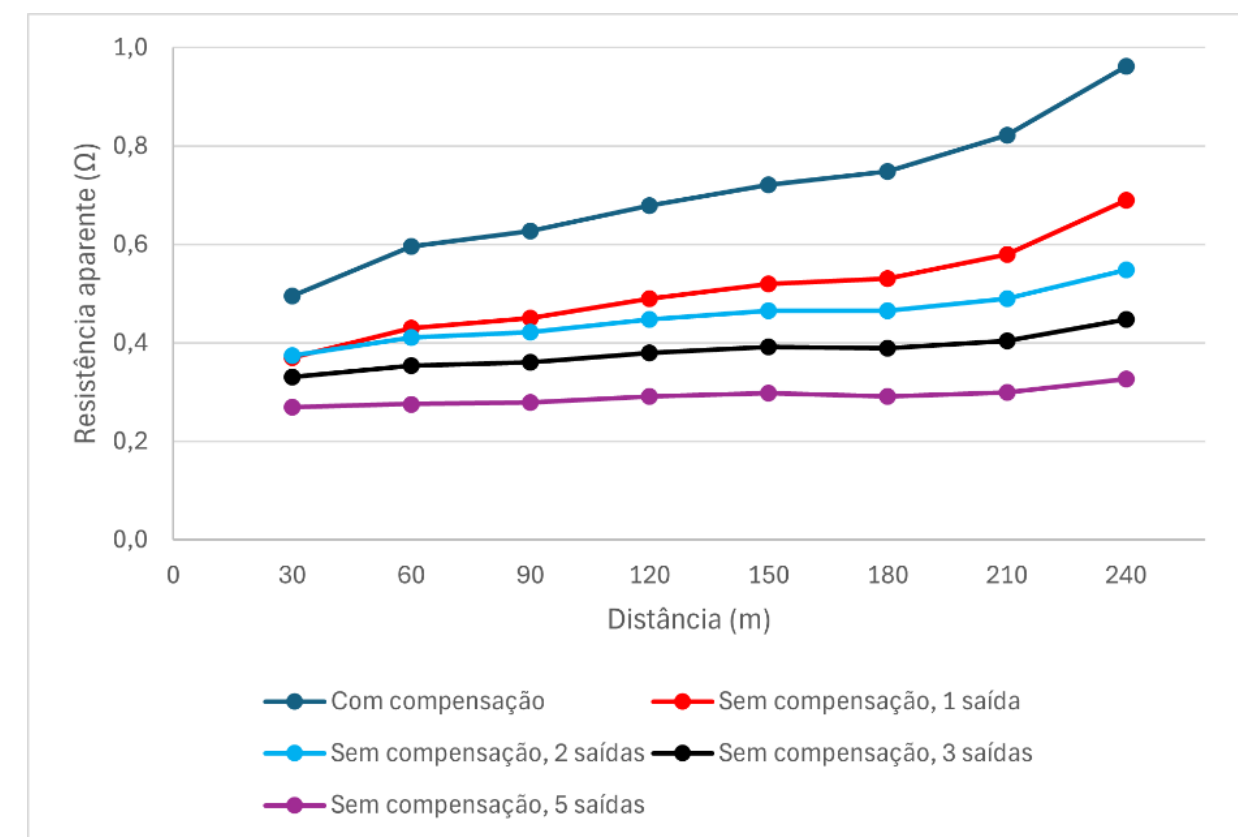
Casos Práticos

➡ Subestação Limeira-06

- As correntes pré-existentes são compensadas. Neste dia variaram entre 88 mA e 641 mA
- O AMT600 opera com frequências de 80, 90 e 100 hertz



Curvas das resistências aparentes obtidas por meio de medição com e sem a compensação das correntes que passam pelo cabo para-raios



Simulação considerado o aumento da quantidade de linhas conectadas à malha

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:



Casos Práticos

➔ Subestação Santa Gertrudes-01

- Possui um ramal de entrada de 138 kV com SPDA conectado a malha através de 8 descidas
- Maior dimensão da malha corresponde a sua diagonal (~70 m)
- Distância do eletrodo de corrente foi de ~350 m



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Casos Práticos

➡ Subestação Santa Gertrudes-01

- As correntes pré-existentes são compensadas. Neste dia variaram entre 129 mA e 4,1 A
- O AMT600 injetou correntes nas frequências de 80, 90 e 100 hertz



Medição das correntes que seguem pelos cabos para-raios conectados à malha utilizando o AMT600-Compensador

Realization:

instituto
abradee



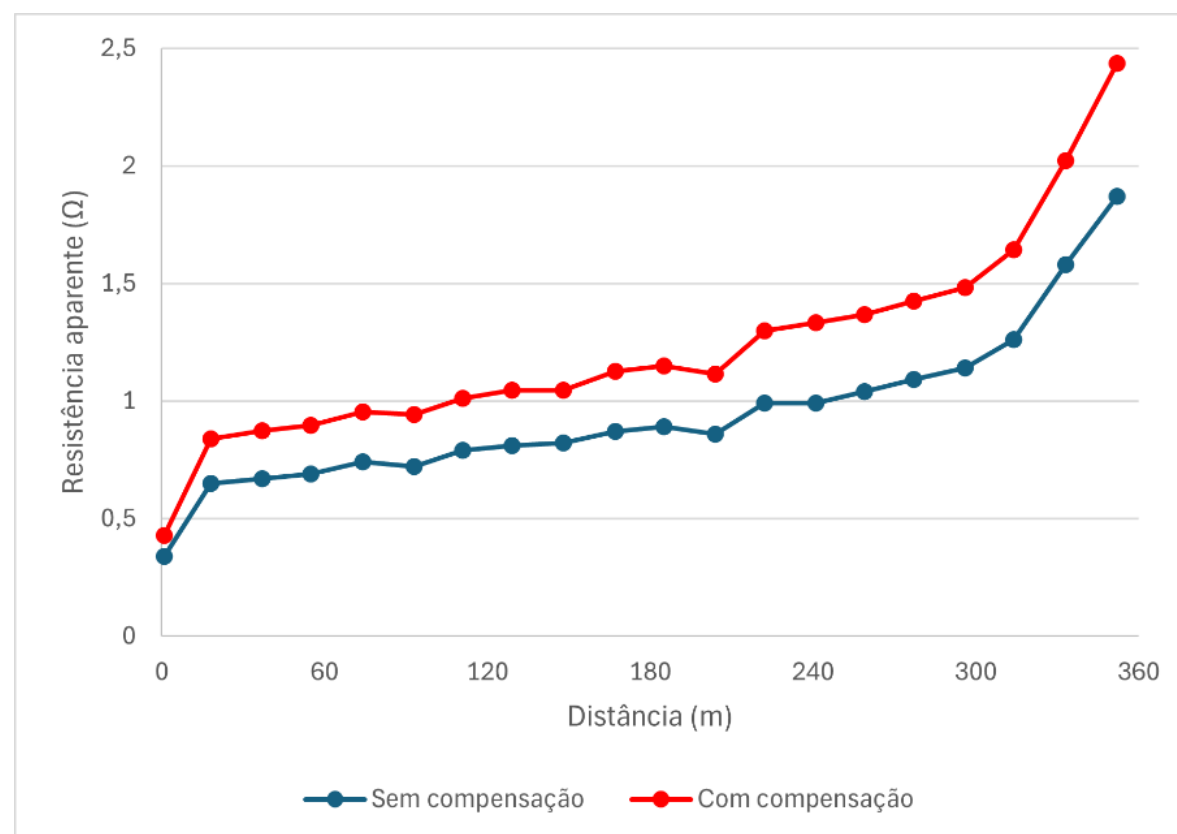
HostCompany:

CEMIG

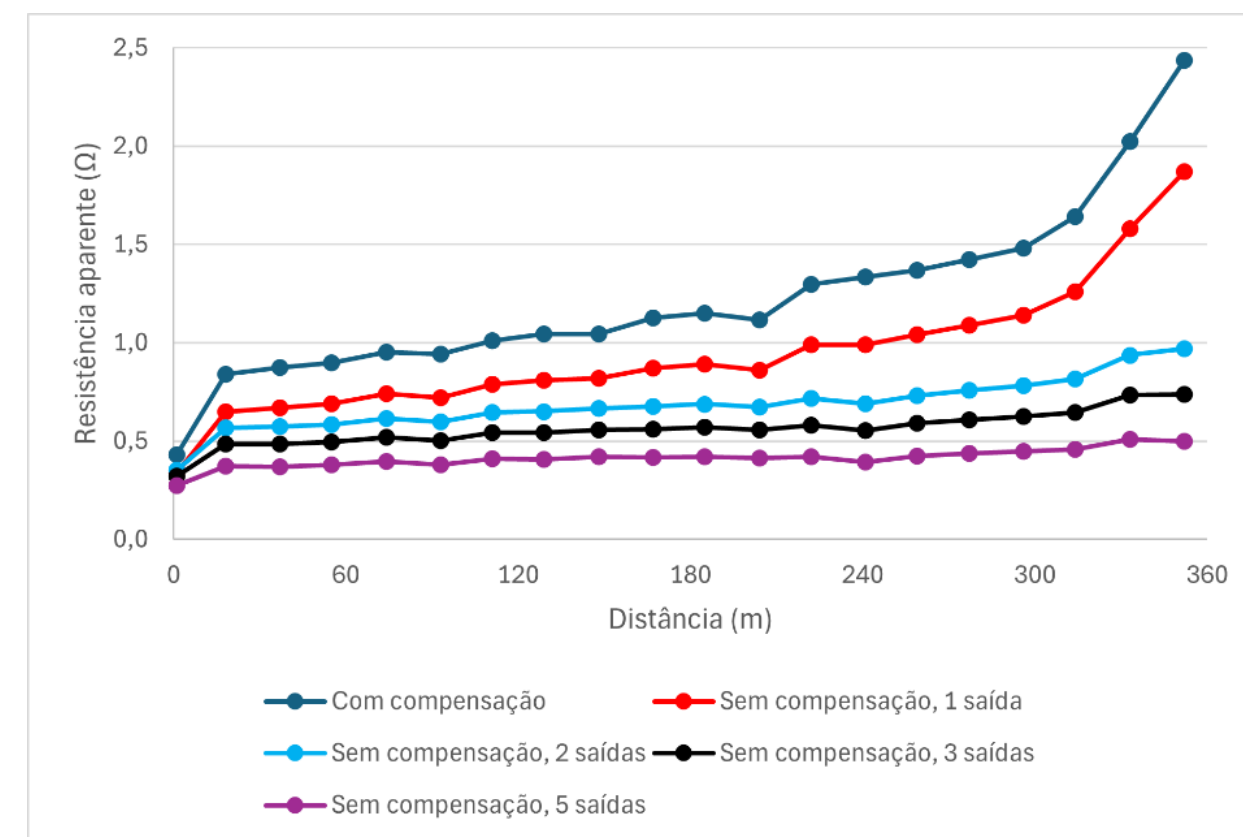
Casos Práticos

➡ Subestação Santa Gertrudes-01

- As correntes pré-existentes são compensadas. Neste dia variaram entre 129 mA e 4,1 A
- O AMT600 injetou correntes nas frequências de 80, 90 e 100 hertz



Curvas das resistências aparentes obtidas por meio de medição com e sem a compensação das correntes que passam pelo cabo para-raios



Simulação considerado o aumento da quantidade de linhas conectadas à malha

Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Considerações Finais

➡ Aspectos gerais e cuidados essenciais nas medições

- Compensação das correntes (CPR): essencial para mitigar erros significativos
- Corrente e potência adequadas: garantia de boa relação sinal/ruído (3A-5A/300VA)
- Medição a quatro fios (Ponte de Kelvin): precisão especialmente em baixas resistências
- Operação remota: segurança operacional reforçada em subestações energizadas
- Frequência de operação: múltiplas, todas abaixo de 110 Hz

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG

Considerações Finais

➡ Benefícios estratégicos do AMT600

- Supera limitações existentes nos métodos convencionais
- Eleva a qualidade e a segurança operacional
- Aquisição em múltiplas frequências baixas
 - ✓ maior precisão ao extrapolar valores representativos à frequência da rede (60 Hz)
 - ✓ mitiga interferências e elimina erros típicos de altas frequências
- Tecnologia 100% nacional
 - ✓ independência tecnológica frente ao mercado internacional
 - ✓ equipamento pioneiro no mercado nacional
 - ✓ valor para aquisição bastante vantajoso
- Solução tecnológica referência no mercado

Realization:

instituto
abradee



Host Company:

CEMIG

Considerações Finais

➡ Analisador de Malha de Aterramento AMT600

Parâmetros medidos

- ✓ Resistência de aterramento
- ✓ Tensão de toque
- ✓ Tensão de passo
- ✓ Continuidade elétrica

■ Projeto

Sistema de medição da resistência de aterramento em subestações usando fonte de injeção de corrente (PD 00043-0120/2020)



AMT600-Compensador



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG

Leonardo R. Limongi
leonardo.limongi@ufpe.br

Outros Projetos de
PDI Neoenergia



Realization:

instituto
abradee



HostCompany:

CEMIG



OBRIGADO!